

**Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero en Telecomunicaciones**

Título

**“Proyecto de un sistema híbrido fotovoltaico para alimentar Base
Transceiver Station “BTS” fuera del Sistema interconectado nacional”.**

Autores:

- Br. Félix Sequeira Balladares TI: 2013-44237
- Br. Larry Paramo Luque TI: 2010-34896

Tutor:

MSc. Ernesto Lira Rocha

Managua, diciembre 2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	1
II.	Antecedente	3
III.	Justificación	4
IV.	Objetivos del estudio	5
4.1.	Objetivo general.....	5
4.2	Objetivo específico.....	5
V.	Marco Teórico	6
5.1	Definición de proyectos	6
5.2	Definición the base station subsystem	7
5.2.1	Base transceiver station.....	7
5.2.2	Base transceiver station configurations.....	8
5.3	Zona y datos de incidencia solar en Nicaragua	9
5.4	Sistema fotovoltaico- definición y tipos.....	11
5.5	Componentes principales de un sistema fotovoltaico.....	12
5.6	Selección del voltaje nominal.....	14
5.7	Dimensionamiento del sistema.....	14
VI.	Metodología.....	20
VII.	Elementos que componen una estación Base	22
7.1	Descripción de los equipos.....	22
VIII.	Diseño y cálculo del sistema fotovoltaico para la BTS.	28
8.1	Dimensionamiento del Sistema	28
8.2	Diseño de los planos del Sistema	36
IX.	Conclusiones	40
X.	Bibliografía	41

ACRONIMOS

SIN	Sistema Interconectado Nacional.
BTS	Base Transceiver Station.
ENEL	Empresa nicaragüense de electricidad.
KW	Kilowatt.
Kwh	Kilowatt hora.
Ah	Amperio – hora.
FVs	Fotovoltaicos.
I-V	Corriente – Voltaje.
SPAT	Sistema de puesta a tierra.
ATS	Sistema de transferencia automática
PAT	Puesta a tierra.
VDC	Voltaje de corriente directa.
VAC	Voltaje de corriente alterna
M	Módulos solares
Hp	Radiación de la localidad en el mes de menor insolación expresada en horas máximas de insolación.
C _B	Capacidad del banco de baterías
CIEN	Código de instalaciones eléctricas en Nicaragua
ENATREL	Empresa de transmisión eléctrica

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Block diagram of a BTS with one TRX.....	8
Figura 2: BTS in standard configuration.....	9
FIGURA 3: Radiation solar en Nicaragua.....	10
Figura 4: Diagrama físico de una Instalación Fotovoltaica.....	13
Figura 5: Diagrama eléctrico de una instalación Fotovoltaico	13
Figura 6: Partes de la MU.....	23
Figura 7: Interfaces MU.....	23
Figura 8: DUG.....	24
Figura 9: DUW.....	24
Figura 10: DUS.....	24
Figura 11: RRU.....	25
Figura 12: SIU.....	26
Figura 13: Características SIU.....	26
Figura 14: consumo promedio de los equipos de la BTS.....	27
Figura 15: Diseño del sistema fotovoltaico para las BTS fuera del SIN.....	36
Figura 16: Conexión del inversor y generador.....	37
Figura 17: Arreglo de las baterías del sistema fotovoltaico.....	38
Figura 18: Arreglo de los paneles solares del sistema fotovoltaico.....	39

I. Introducción

El objetivo principal del presente proyecto fin de Carrera no es explicar en profundidad el funcionamiento, ni de la telefonía móvil, ni de las Estaciones Base de Telefonía Móvil, pero se realiza en este punto una pequeña explicación de en qué consiste dichos conceptos a modo de introducción, su arquitectura de las BTS y equipos para entender mejor el desarrollo de los diferentes puntos y como introducción a los mismos.

Por tanto se presentará una propuesta de proyecto con el fin de diseñar un sistema hibrido fotovoltaico para alimentar Base Transceiver Station BTS fuera del SIN, con el propósito de brindar posibles soluciones para generación de energía eléctrica mediante métodos alternativos con el fin de suplir la demanda de las antenas repetidoras de telefonía celular móvil que se encuentran en zonas aisladas fuera del alcance del servicio de las empresas de distribución eléctrica como el atlántico de Nicaragua.

Por ello se busca a continuación una solución a esta problemática existente, la cual contempla la instalación de nuevas fuentes de generación (sistemas FVs, Grupos electrógeno), así como un estudio del sistema eléctrico de aquellas estaciones donde se desea la incorporación de nuevas cargas, esto con el objeto de dar un veredicto que indique la necesidad de adecuar la infraestructura existente.

Es uno de los objetivos primordiales que se plantea este estudio es mediante el suministro de energía la incorporación de nuevas BTS y de esta manera brindar la mayor cobertura en el área de telefonía móvil celular en zonas aisladas.

El diseño debería contemplar el arreglo fotovoltaico, arreglo de baterías, sistemas de puesta tierra, sistema de protección, sistema eléctrico, sistema del grupo electrógeno, sistema de transferencia automática etc.

Además, se busca una estimación del ciclo de carga diaria de las antenas repetidoras y evaluar el uso de tecnologías fotovoltaicas, híbridas (grupo electrógeno - fotovoltaica). Por otra parte, se investigará sobre los recursos solares disponibles en la zona.

Poder instalar este tipo de fuentes de energía permite brindar cobertura a zonas aisladas y aumentar la confiabilidad de suministro en zonas donde no hay y además donde es baja la calidad del servicio eléctrico, factor que es determinante para lograr la cobertura y calidad del servicio móvil en todo el territorio.

El uso de energías alternativas para alimentar antenas repetidoras de telecomunicaciones en zonas remotas es importante ya que se eliminan algunos de los inconvenientes asociados a la alimentación con generadores eléctricos convencionales (a gasolina o diésel).

Algunos de estos inconvenientes son: el transporte del combustible, la dependencia con respecto a las empresas contratistas encargadas de dicho transporte y el riesgo contaminante en caso de accidentes.

En este trabajo se realizará una cuidadosa selección del tamaño de la fuente a emplear y comparar en términos económicos con respecto a una solución con generadores convencionales a gasolina. La principal ventaja de hacer este tipo de análisis es la cuantificación de los beneficios obtenidos por el uso de la fuente seleccionada y es esto lo que justificó la realización del estudio

II. Antecedente

Aunque el crecimiento en cobertura de red eléctrica en el país en la última década ha crecido de manera vertiginosa, todavía se tienen una gran cantidad de municipios sin este servicio, entre ellos, municipios de la costa atlántica nicaragüense.

El problema de la cobertura total del territorio nacional con la red eléctrica va más lejos de la topografía de las zonas, esto también depende en mayor parte a la planeación de expansión de Enatrel encargada de la distribución de energía fuera del SIN en Nicaragua. La mayoría de las BTS de los operadores móviles están conectados a la red eléctrica convencional, se trata de un sistema de red eléctrica convencional, solicitado a la empresa prestadora de este servicio en la zona donde se instalará la BTS para comunicaciones móviles y demás servicios que se puedan prestar por este sitio.

El sistema de red eléctrica convencional, consiste en una ampliación a la red eléctrica que se encuentre en la zona y así poder llevar la red desde el punto más cercano hasta la estación base. Lo anterior podría implicar el tendido de varios kilómetros de cables, instalar una serie de postes para poder extender los mismos, así como también la instalación de un transformador, los equipos y materiales necesarios para poder llegar al sitio. De igual forma, se deberá contar con un sistema de respaldo para que en el momento que falle la red eléctrica, este sistema entre en funcionamiento

En el centro de documentación de monografías de la uní se encontraron temas relacionados a sistemas FVs, tal es el caso presentado en la ciudad de Managua en el 2016 como proyecto de tesis un **“Diseño de un sistema fotovoltaico para iluminación en el Tecnológico ubicado en el departamento de Carazo**. No hay temas relacionados para alimentar BTS y empresas como Erikson realizan estos proyectos para los operadores móviles.

III. Justificación

La importancia del estudio se fundamenta en demostrar la energización de una Base Transceiver Station BTS por medio de tecnologías fotovoltaicas híbridas (fotovoltaicas – grupos electrógeno) fuera del suministro eléctrico tradicional realizado por la distribuidora (DISNORTE – DISSUR y ENEL para zonas fuera del SIN).

Como estudiantes de ingeniería en telecomunicaciones estamos desarrollando nuevas competencias relacionadas al área de telecomunicaciones como es la generación de energía para el buen funcionamiento de los equipos ubicados dentro de una Base Transceiver Station BTS, según el perfil de la carrera “Realizar mantenimientos de los sistemas de telecomunicaciones con el fin de garantizar su operatividad y brindar soluciones ingenieriles a los problemas que esta área presente”, además académica al aplicar los conocimientos adquiridos en asignatura como formulación y evaluación de proyectos, Tecnología y medio ambiente , Circuitos eléctricos , electrónica analógica- Digital etc.

Con este estudio se beneficia los operadores de telefonía móvil y las empresas encargas de brindar este servicio debido a que este tipo de proyecto son ejecutados por empresas de servicio trasnacionales. De igual manera cada vez más operadoras de telefonía móvil están buscando soluciones eficientes para sus estaciones sin red eléctrica.

Se benefician los estudiantes de ingeniería en electrónica, eléctrica, telecomunicaciones etc. al disponer de este documento con temáticas relacionadas a este tema, permitiendo una forma de retroalimentación para proyectos de este tipo.

Así mismo se está desarrollando nuevas competencias en los futuros ingenieros en diferentes ramas de la ingeniería, mejorando así el proceso de enseñanza–aprendizaje

IV. Objetivos del estudio

4.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema hibrido fotovoltaico para alimentar Base Transceiver Station “BTS” fuera del Sistema interconectado nacional.

4.2 Objetivo específico

- Dar una solución a la problemática de suministrar energía a las estaciones radio base fuera del SIN, mediante propuestas de energización utilizando sistemas fotovoltaicos híbridos.
- Realizar la documentación y familiarización técnica de la infraestructura eléctrica utilizada en las Estación Radio Base.
- Realizar inspecciones en campo para determinar la carga a suministrar y dar una solución a la problemática de energía en las estaciones fuera del SIN, partiendo de las alternativas de energización propuestas mediante un adecuado dimensionamiento del sistema fotovoltaico hibrido.
- Utilizar la herramienta computación de AUTOCAD para diseñar el plano eléctrico del sistema fotovoltaico hibrido a proponer.
- Elaborar una estructura de costo que garantice llevar a cabo un proyecto de inversión de este tipo.

V. Marco Teórico

5.1 Definición de proyectos

El concepto de proyectos ha sido ampliamente tratado por diferentes autores y desde diferentes puntos de vista. Todos sugieren que la expuesta por cada uno de ellos es la mejor.

Aquí, algunas definiciones:

- Según **Gido y Clements, 2012**: “Un **proyecto** es un esfuerzo para lograr un objetivo específico por medio de una serie particular de tareas interrelacionadas y el uso eficaz de los recursos. Los atributos siguientes ayudan a definirlo: un **objetivo** claro que establece lo que se logrará. Es el producto final tangible que el equipo del proyecto debe producir y entregar. El objetivo del proyecto se define en términos de *producto final o entregable, programa y presupuesto*”. (P.4).
- Según **Gray y Larson, 2009**: “Un proyecto es un esfuerzo complejo, no rutinario, limitado por el tiempo, el presupuesto, los recursos y las especificaciones de desempeño y que se diseña para cumplir las necesidades del cliente”. (P.5)
- Según **Nassir y Sapag, 1991**: Un proyecto no es más ni menos que la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre tantas, una necesidad humana. Cualquiera sea la idea que se pretende implementar, cualquiera la inversión, cualquiera la metodología o la tecnología a aplicar, ella conlleva necesariamente la búsqueda de proposiciones coherentes destinadas a resolver las necesidades de la persona humana en todos sus alcances: alimentación, salud, educación, vivienda, religión, defensa, política, recreación etcétera.
- **Guía del PMBOX**: “Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos indica un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto o cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos,

o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Temporal no necesariamente significa de corta duración. En general, esta cualidad no se aplica al producto, servicio o resultado creado por el proyecto; la mayor parte de los proyectos se emprenden para crear un resultado duradero”.

5.2 Definición the base station subsystem

Segun Heine ,1999, P.19:

Via the Air-interface, the BSS provides a connection between the MSs of a limited area and the network switching subsystem (NSS). The BSS consists of the following elements:

- One or more BTSs (base transceiver station);
- One BSC (base station controller);
- One TRAU (transcoding rate and adaptation unit).

The tasks and the structure of those elements or modules are described in this chapter.

5.2.1 Base transceiver station

The BTS provides the physical connection of an MS to the network in form of the Air-interface. On the other side, toward the NSS, the BTS is connected to the BSC via the Abis-interface.

The manufacturers of BTS equipment have been able to reduce its size substantially. The typical size in 1991 was that of an armoire; today the size is comparable to that of a mailbox. The basic structure of the BTS, however, has not changed. The block diagram and the signal flow of a BTS with one TRX are shown in Figure. The GSM Recommendations allow for one BTS to host up to 16 TRXs. In the field, the majority of the BTSs host between one and four TRXs.

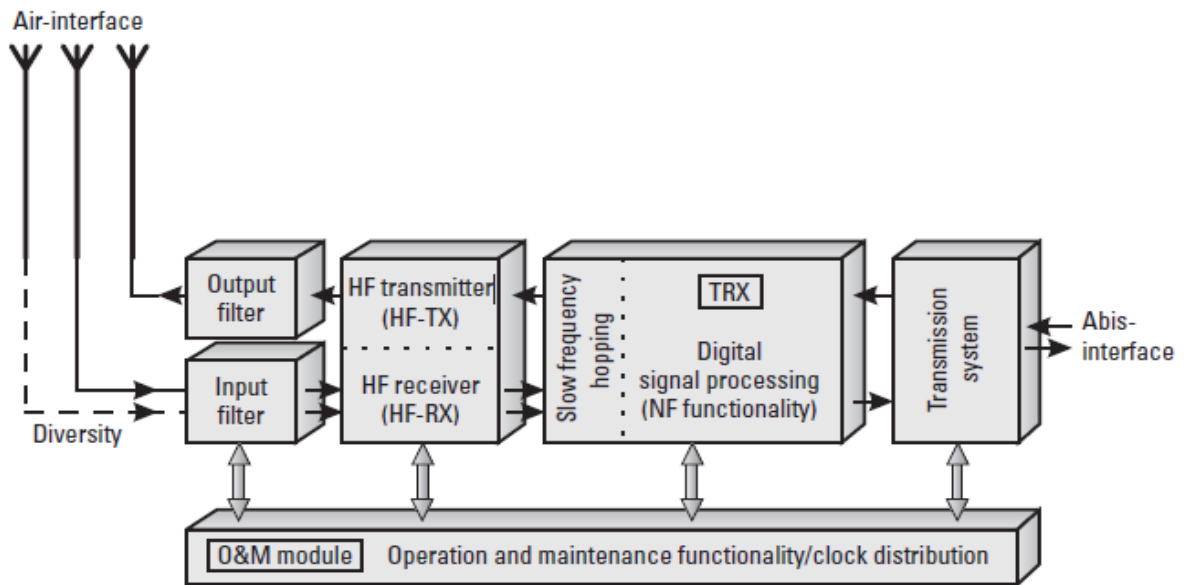


Figura 1: Block diagram of a BTS with one TRX.

5.2.2 Base transceiver station configurations

Different BTS configurations, depending on load, subscriber behavior, and morph structure, have to be considered to provide optimum radio coverage of an area. The most important BTS configurations of a BTS are presented next.

- Standard Configuration
- Umbrella Cell Configuration
- Sectorized (Collocated) Base Transceiver Stations

A. Standard configuration

All BTSs are assigned different cell identities (CIs). A number of BTSs (in some cases, a single BTS) form a location area. Figure 3.2 shows three location areas with one, three, and five BTSs. The systems are usually not fine-synchronized (see synchronized handover in the Glossary), which prevents synchronized handover between them. That method of implementing BTSs is the one most frequently used. For urban areas with growing traffic density, that may change soon. For this

situation, the configurations described in Sections 3.1.2.2 and 3.1.2.3 are more appropriate

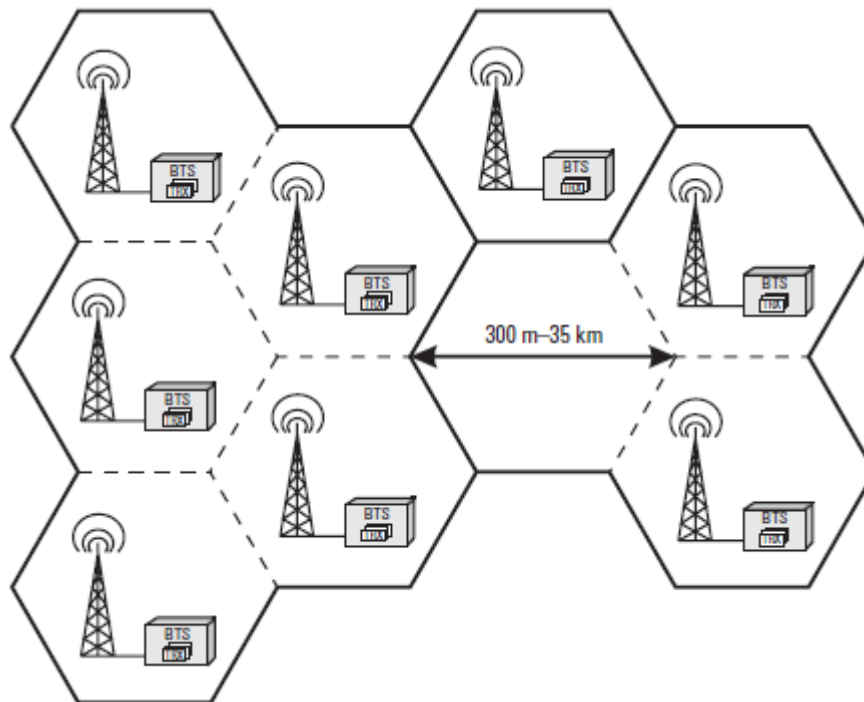


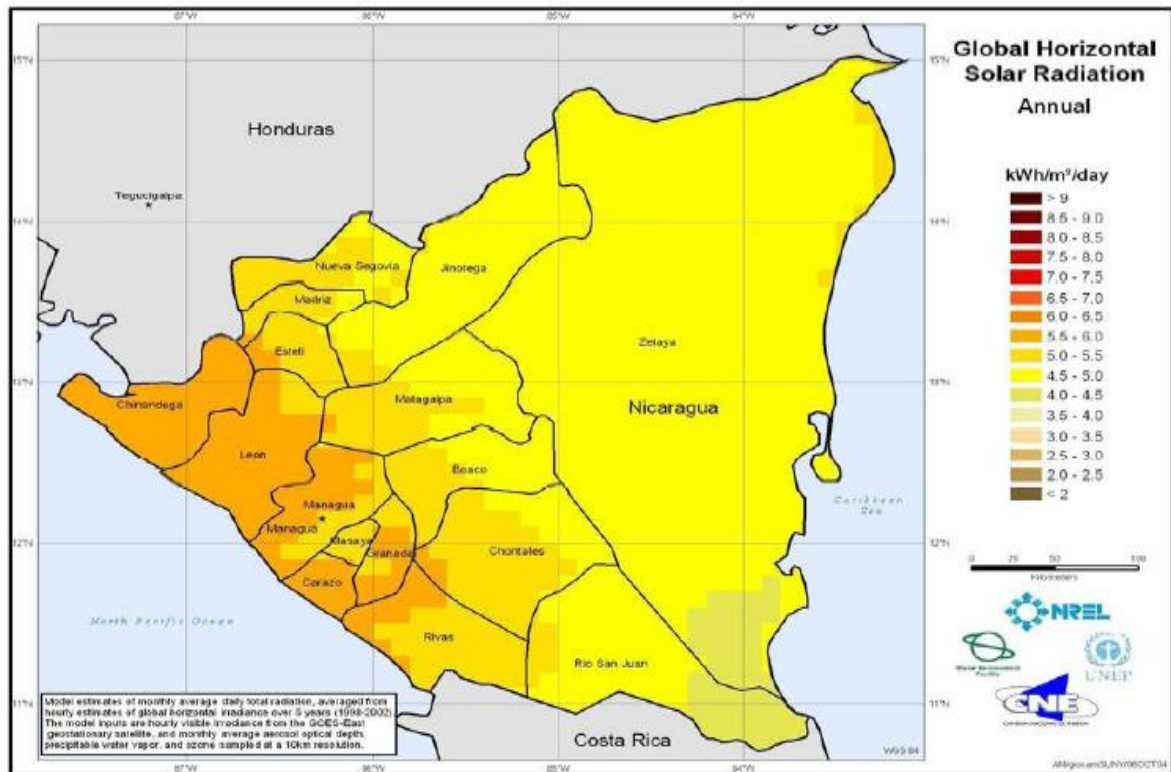
Figura 2: BTSs in standard configuration.

5.3 Zona y datos de incidencia solar en Nicaragua

La zona donde se propone el sistema de la instalación del modelo de energía Fotovoltaica para estaciones base es la zona de la costa atlántica, territorio nacional de Nicaragua, en donde actualmente hay poca cobertura de red celular ya que la red eléctrica convencional es nula y el hacer una instalación de una BTS para energizar con esta red acarrearía unos costos muy altos para cualquier empresa de telefonía móvil de las que operan a nivel nacional en este momento.

Se tendrán en cuenta los datos proporcionados por global Horizontal Solar Radiation alojado en la página Web del SWERA, UNEP; en donde se validará la radiación solar y la cantidad de horas de brillo solar en el día, esto con el fin de poder proporcionar un sistema estable y que brinde la autonomía requerida para la

estación base. Irradiación solar diaria: 5,0 kW h/m². Total, Horas brillo solar: 5 horas diarias. Según el siguiente mapa.



(Fuente: SWERA, UNEP)

FIGURA 3: Radiation solar en Nicaragua

5.4 Sistema fotovoltaico- definición y tipos

Típicamente, un sistema fotovoltaico se define como el conjunto de elementos mecánicos, electrónicos y eléctricos necesarios para captar y transformar la energía solar en energía eléctrica.

Atendiendo a su configuración se clasifican en dos grupos.

- Sistemas conectados a la red
- Sistemas aislados

A. Sistemas conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica. Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico, característico de este tipo de instalaciones. Así, el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario.

En los sistemas conectados a red es necesario conectar con las líneas de distribución, cumpliendo con los requisitos demandados por la compañía eléctrica. También se incluirá un sistema de medición mediante el que el propietario, una vez dispone del Régimen Especial de Producción de Energía, factura la producción.

Es necesario tener en cuenta que, en el caso de considerar sistemas conectados a red, es la misma red la que desempeña la tarea de acumulador, de capacidad infinita. La carga representa, en cambio, el usuario conectado a red, como sucede en cualquier otro sistema 'grid connected'.

B. SISTEMAS AISLADOS

Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos para los cuales no compensa pagar el coste de la conexión a red, o para lo que sería muy difícil conectarlos debido a su situación geográfica.

Los sistemas aislados, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente suelen contar con sistemas de acumulación de energía. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Una configuración de este tipo debe estar dimensionada de tal forma que permita, durante las horas de insolación, tanto la alimentación de la carga como la recarga del sistema de acumulación. Además de esto, el sistema de acumulación debe ser capaz de soportar un cierto número de días de baja insolación, debido principalmente a fenómenos climatológicos, sin que esto repercuta en la alimentación de las cargas.

5.5 Componentes principales de un sistema fotovoltaico

Consta principalmente de los siguientes elementos:

- Paneles Fotovoltaico
- Estructura y cimientos del arreglo
- Reguladores de voltaje
- Controlador de carga de batería
- Inversor de corriente cd/ca o un rectificador ca/cd
- Baterías de almacenamiento eléctrico y recinto para ellas
- Instrumentos
- Cables e interruptores
- Red eléctrica circundante
- Cercado de seguridad sin incluir las cargas eléctricas

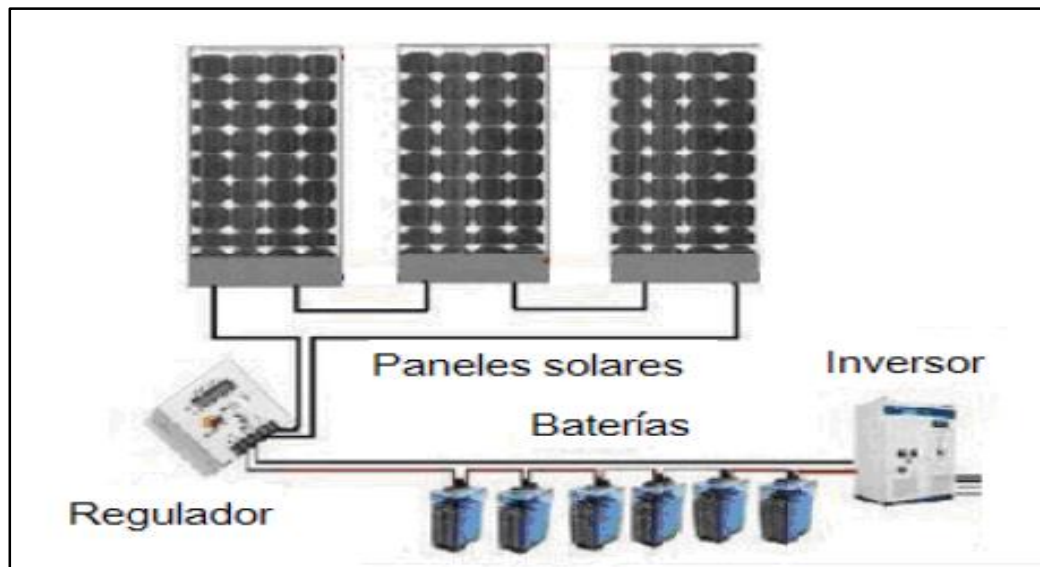


Figura 4: Diagrama físico de una Instalación Fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico no siempre consta de la totalidad de los elementos arriba mencionados. Puede prescindir de uno o más de éstos, dependiendo del tipo y tamaño de las cargas a alimentar, el tiempo, hora y época de operación y la naturaleza de los recursos energéticos disponibles en el lugar de instalación.

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considere y de las características de la instalación. Para el caso de un sistema autónomo, los componentes necesarios para que funcione correctamente y tenga una elevada fiabilidad son:

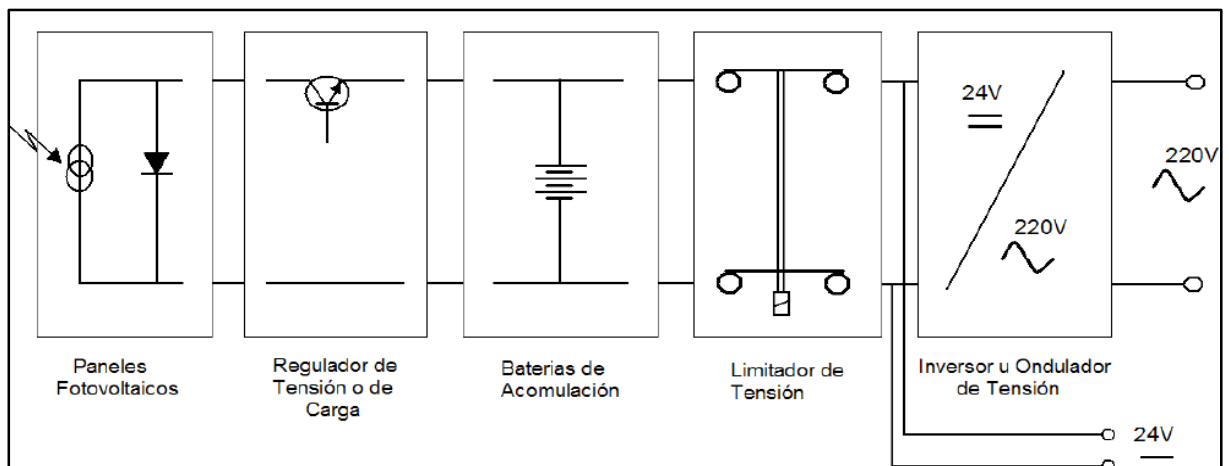


Figura 5: Diagrama eléctrico de una instalación Fotovoltaica

5.6 Selección del voltaje nominal

La determinación del voltaje nominal de la instalación definirá el modelado de todo el equipamiento de los sistemas fotovoltaicos: el número y características de los módulos, de las baterías y del regulador. Los voltajes de operación se seleccionarán según sean las cargas consideradas previamente y sus valores típicos para sistemas fotovoltaicos individuales son los siguientes:

- 12V para sistemas < 500W
- 24V para sistemas >500W y <3.000W
- 48V para sistemas >3.000W

5.7 Dimensionamiento del sistema

a) Energía consumida

b) Cálculo del arreglo solar

Ecuación 1

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

M = Número de módulos solares

Ec = Energía consumida diariamente por las cargas (Whr/día)

Fs = Factor de sobre dimensionamiento del Sistema (Se sobre dimensiona 10% a 20%

Fs = 1.1 a 1.2).

Im = Corriente del módulo solar (máxima insolación 1Kw/m²)

Vm = Voltaje promedio de operación del módulo solar (No confundirlo con el voltaje de baterías).

Hp = Radiación de la localidad en el mes de menor insolación expresada en horas máximas de insolación.

N_{Inv.} = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en:

C.A. valores típicos 0.8 a 0.9

C.D. valor es de 1

N_{Bat} = Eficiencia de carga de la batería 0.87 a 0.9 “0.81”

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

c) Cálculo del ángulo de inclinación y del ángulo de orientación

El ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, lo que se recomienda es que se utilice el valor de la latitud del lugar donde se encuentra localizado el proyecto al cual se le suma 5°

Ecuación 2

$$\angle_{INC} = \angle_{LAT} + 5^\circ$$

Por lo tanto, asumiendo que el ángulo de inclinación en el que se deben de colocar los paneles solares orientados hacia el sur es de 25°

d) Cálculo del banco de baterías

Ecuación 3

$$C_B = \frac{A_U E_c}{V_B F_U F_1 N_{INV}}$$

C_B = Capacidad del banco de baterías

E_c = Energía consumida diariamente

A_U = Autonomía deseada en el banco de baterías (días) varía entre 4 días con buena insolación y hasta 6 días para lugares nublados.

V_B = Voltaje nominal al cual trabajará el banco de baterías.

F_U = Fracción de la capacidad total de la batería que se usa para dar la autonomía de diseño del sistema evitando que las baterías se descarguen totalmente.

Fu = 0.5 baterías de placa delgada

Fu = 0.8 baterías de placa gruesa

Fi = Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor Nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga.

Este valor varía desde 1.05 en baterías de placa delgada hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tabular.

d) Cálculo del número de baterías

Ecuación 4

$$N_{B.} = \frac{C_{.R}}{C_B}$$

N_B = Número de baterías que se necesitan

C_R = Capacidad de energía requerida para funcionar en días nublados (Ah)

C_B = Capacidad de la batería (Ah)

$$N_{B.} = \frac{C_{.R}}{C_B}$$

e) Cálculo del controlador de carga

Ecuación 5

$$I_{\max} = I_{SC} \times N_p$$

f) Especificación del Inversor

$$INV = W1 + W2 + W3 + W4 + W5 + W6$$

Ecuación 6

INV = Potencia del Inversor (W)

W = Potencia de cada una de las cargas (W)

$$INV = W1 + W2 + W3 + W4 + W5 + W6$$

Con respecto al valor calculado se concluye que el tipo de inversor que se necesite es:

g) Cálculo el calibre de los conductores de la instalación fotovoltaica

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

Ecuación 7

A= Es el área del conductor

ρ = Resistividad del cobre $0.01785 \Omega \text{mm}^2/\text{m}^2$

I = Corriente del conductor

l = Longitud del conductor

ΔE = Caída de tensión (V)

e% = Caída de tensión (%) no mayor del 3%

V = Tensión (V)

0.85 = Factor de ajuste para conductores expuestos a la radiación solar.

- **Entre el panel y el controlador de carga**

Ecuación 8

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

Cálculo del ΔE

$$\Delta E = V e\% / 100\%$$

- **Entre el controlador de carga y las baterías**

$$\Delta E = V e\% / 100\%$$

Ecuación 9

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

- **Entre el controlador de carga y el inversor**

$$\Delta E = V_e\% / 100\%$$

$$A = 2\rho\ell/\Delta E$$

- **Entre el inversor y el interruptor termo magnético**

Ecuación 10

$$I = P / V \cos \theta$$

$$e\% = 2P\ell / P_v S$$

Ecuación 11

$e\%$ = caída de tensión %

P = Potencia total considerada (W)

ℓ = longitud de la línea (m)

V = Tensión nominal

S = sección en m^2

σ = Resistividad del conductor ($0.01785 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)

ρ = conductividad del cobre

$$\rho = 1/\sigma = 1/0.01785 = 56$$

$$e\% = 2P\ell / \rho V S$$

Despejando “S” nos queda de la siguiente fórmula.

$$S = 2Pl / \rho V e\%$$

Ecuación 12

Por normas se considera que se use del 12 AWG.

$$\Delta E = Ve\% / 100\%$$

$$\Delta E = (220)(0.5\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 1.1 \text{ V}$$

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

VI. Metodología

La metodología que se utilizara para este estudio es la investigación de campo y la investigación cuantitativa. La Investigación de campo porque se recabará información en el sitio y exige un contacto con la realidad. La Investigación cuantitativa porque va a generar datos apoyados en tratamiento estadísticos.

Con el objeto de presentar de manera detallada las actividades a realizar durante el desarrollo del estudio para suministrar de energía FVs híbrida a las BTS, se presenta a continuación de manera cronológica el resumen de dichas actividades.

Para realizar el diseño del sistema fotovoltaico de electrificación es necesario conocer las características y el funcionamiento de los distintos componentes que conforman la instalación aislada, para esto se realizará una investigación de fuentes bibliográficas y páginas de Internet, con la finalidad de comprender los aspectos básicos de la generación de electricidad a partir de celdas solares y los principios de funcionamiento de éstas y de los paneles, reguladores de carga, inversores y demás equipos que conforman el sistema.

La investigación abarcará además las técnicas de diseño que se emplean actualmente para la elaboración de proyectos de este tipo. Como un complemento en la etapa de diseño del sistema, se espera realizar consultas a profesionales con experiencia en el tratamiento de este tipo de tecnologías, que puedan brindar una visión realista de los principales aspectos de la generación eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos en la actualidad.

Los datos e información contenidos en este documento deberán serán comparados con datos suministrados por otras fuentes similares, para tener una mejor aproximación del valor real de la radiación solar promedio en esta área específicamente en el atlántico.

La investigación sobre los equipos fotovoltaicos disponibles actualmente en el mercado y sus principales características, se realizará básicamente ingresando a los sitios web de los principales distribuidores de este tipo de componentes, que generalmente brindan información explícita sobre los aspectos más relevantes de los equipos en cuestión (eficiencia, capacidad, costos, etc.).

Es necesario establecer un promedio de la potencia que consume cada aparato, así como de la cantidad de horas que se utiliza diariamente cada uno de dichos equipos, para determinar de esta forma cuál es la carga total que se requiere alimentar a partir del sistema generador fotovoltaico. Para este cálculo, deberán aproximarse también las posibles pérdidas que se dan en el sistema (pérdidas en cables, eficiencia de los componentes).

➤ DIMENSIONADO DE LAS INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El proceso de cálculo se puede simplificar en 4 pasos:

- . Cálculo de la potencia máxima diaria.
- . Cálculo del inversor.
- . Cálculo de la energía máxima diaria de la instalación.
- . Cálculo de paneles solares necesarios para la instalación.
- . Cálculo de la capacidad de la batería.

El mejor diseño para un sistema FV es aquel que, incorporando el menor número de paneles y baterías (si se requieren), satisface las condiciones impuestas por la carga eléctrica, con un determinado grado de confiabilidad para el sistema. A continuación, se procederá a describir los pasos fundamentales para el diseño de un sistema FV:

VII. Elementos que componen una estación Base

Los elementos principales que componen una EB son:

- Antena o antenas: emisora(s) y receptora(s) de las señales de radio.
- Torre o mástil.
- Equipo de comunicación o radio base.
- Enlace con la central telefónica.
- Planta eléctrica o baterías que sirven para garantizar el funcionamiento del sistema.
- Sistema de refrigeración que permiten el correcto funcionamiento de la EB (en caso de ser una instalación Indoor).

7.1 Descripción de los equipos

Para hacer la descripción de los equipos que comprenderían una BTS, hemos creído conveniente elegir la marca Ericsson, nos hemos basado en una norma de instalación RBS 6000 para Vodafone.

➤ Elementos del Nodo Distribuido de Ericsson RBS6600

La RBS6601 es una estación base de la familia de la RBS 6600 para GSM, DCS, UMTS ó LTE. La RBS 6601 consta de una unidad principal Indoor llamada Main Unit (MU) y de un número de RRU que se localizan junto a las antenas.

a) MU RBS 6601

La RBS 6601 se compone de una unidad de banda base llamada Main Unit (MU) y de un máximo de seis unidades radio remotas (RRU), la unión entre ambas se realiza a través de fibra óptica. En la siguiente figura se muestran las partes principales de la MU:

- A: Main Unit (Suport System).
- A1: Módulo de ventilación.
- A2: Soportes móviles (orejeras).
- B: DU.

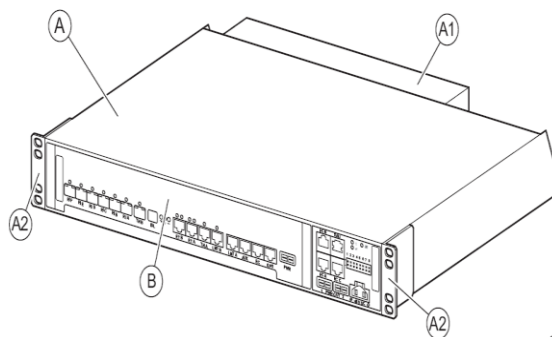


Figura 6: Partes de la MU

Las interfaces de conexión de la MU se muestran en la siguiente figura:

- A: Interfaz de conexión a tierra.
- B: Interfaz de alarmas externas.
- C: Interfaz de alimentación SAU.
- D: Interfaz de alimentación de entrada.
- E: DU con las interfaces de:
 - Gestión LAN.
 - GPS.
 - E1y Ethernet óptica/eléctrica.

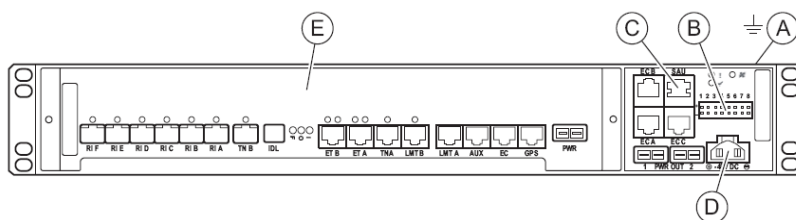


Figura 7: Interfaces MU

Características:

- | | |
|---|-----------------|
| • Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo) | • 66x483x350 mm |
| • Espacio necesario en rack 19" | • 2U |
| • Peso (totalmente equipada) | • <10kg |
| • Rango de temperaturas (°C) | • De +5a +50°C |
| • Consumo máximo | • 405W |

b) DUG

Esta unidad es la controladora del estándar GSM. Proporciona conmutación, gestión del tráfico, temporización e interfaz radio. Tiene una capacidad máxima de 12 portadoras.

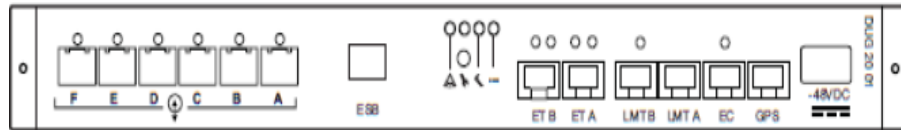


Figura 8: DUG

c) DUW

Esta unidad es la controladora del estándar WCDMA (UMTS). Proporciona conmutación, gestión de tráfico, temporización, procesado en banda base e interfaz radio. Tiene capacidad máxima de 768channel elementos en el DL y 512 en el UL.

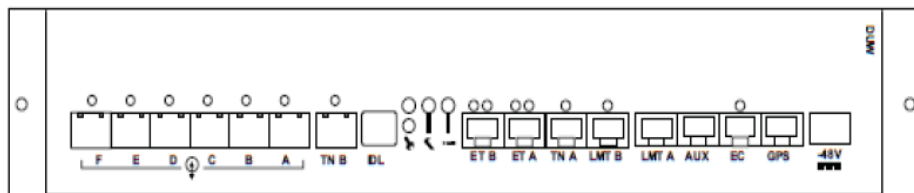


Figura 9: DUW

d) DUS

Esta unidad es una controladora multi-estándar para LTE. Proporciona conmutación, gestión del tráfico, temporización, procesado en banda base e interfaz radio.

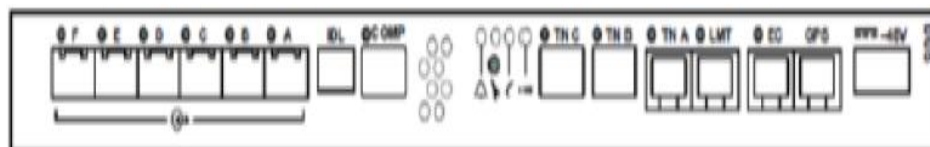


Figura 10: DUS

e) RRU

La RRU es la unidad remota de radio. Puede localizarse remotamente de la RBS Main Unit (MU), hasta una distancia de 15 km. Las RRU están diseñadas para ser instaladas junto a las antenas de una RBS. Un cable de fibra óptica, también llamado enlace de interfaz óptico (Optical Interface Link-OIL), conecta las RRU a las RBS MU. Hasta 6RRU pueden ser conectadas en configuración estrella con enlaces OIL a la RBS.

La RRU se conecta a las antenas mediante cable RF. Como norma general se instalarán lo más próximo posible a las antenas de radio, aprovechando elementos estructurales existentes en los emplazamientos. Nosotros las hemos instalado en la barandilla, a continuación, en la Figura se puede apreciar cómo quedaría.



Figura 11: RRU

f) DC-BOX

Para dotar de protección contra sobretensiones (OVP, Over Voltage Protection) a las conexiones de alimentación de las RRU, se instalará una DC-BOX. Esta se alimentará de un disyuntor, o 2 paralelos, de la parte no prioritaria del equipo de fuerza del emplazamiento. Las MU deberán alimentarse en primera opción del equipo de fuerza del emplazamiento; en segunda opción, de la DC-BOX.

La DC-BOX proporciona 9 (Eltek) o 10(Delta) disyuntores de 30A, en una unidad de 1U de altura, con protección OVP tipo II accesible desde el frontal.

Se instalarán siempre en la parte superior del módulo de transporte, rack de 19" o armario de intemperie donde se equipe.

g) SIU

La SIU es el elemento que posibilita la migración a tráfico IP de las RBS. Se trata de una tarjeta de 1 U de altura y en rackable en 19", que proporcionará un interfaz común entre las RBS (ya sean de GSM, UMTS o LTE) y las redes de transporte IP Ethernet o IP sobre PDH.

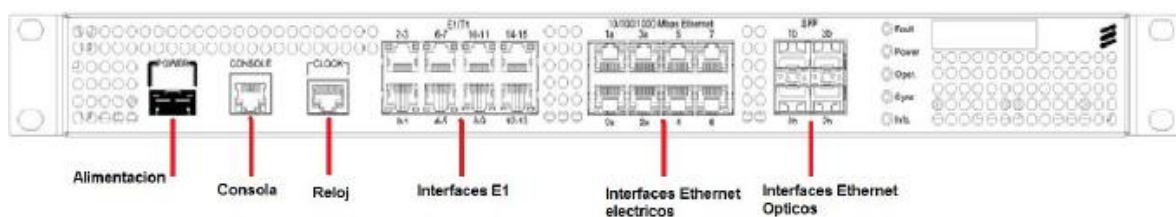


Figura 12: SIU

Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo)	43 x 482 x 252 mm
Espacio necesario en rack de 19"	1 U
Peso (totalmente equipada)	3,9 kg
Rango de temperaturas de trabajo	De +5 a +50 °C
Alimentación	-48 Vdc de las propias MU

Figura 13: Características SIU

Unidad	Potencia máxima (W)	Disyuntor mínimo (A)	Disyuntor recomendado (A)	Sección del cable* (mm ²)
MU	405	15	16	2x1,5 (hasta 10m)
RRUW	340	15	30	
RRUS01	430	15	30	2x6 (hasta 60m)
RRUS11	510	16	30	2x10 (de 60 a 100m)
RRUS12	600	25	30	
DC-Box	–	100	100 o 2x63	2x35 (hasta 10m)

Figura 14: consumo promedio de los equipos de la BTS

VIII. Diseño y cálculo del sistema fotovoltaico para la BTS.

8.1 Dimensionamiento del Sistema

Cálculos del Proyecto

a) Energía Consumida

Ítem	Tipo de Consumo	Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso al día	Energía (Wh/día)
		Consumo de la BTS		4725	20	94500
		Energía Total			Wh/día	94500
					Kwh/día	94.50

b) Cálculo del Arreglo Solar

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

M = Número de módulos solares
 Ec = Energía consumida diariamente por las cargas (Whr/día)
 Fs = Factor de sobre dimensionamiento del Sistema (Se sobre dimensiona 10% a 20%)
 Fs = 1.1 a 1.2).
 Im = Corriente del módulo solar (máxima insolación 1Kw/m2)
 Vm = Voltaje promedio de operación del módulo solar (No confundirlo con el voltaje de baterías).
 Hp = Radiación de la localidad en el mes de menor insolación expresada en horas máximas de insolación.
 NInv. = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en:
 C.A. valores típicos 0.8 a 0.9
 C.D. valor es de 1
 NBat = Eficiencia de carga de la batería 0.87 a 0.9 “0.81”

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

$$M = \frac{\left(\frac{94500 \text{Whr}}{\text{dia}}\right)(1.2)}{(8.61 \text{Amp})(36.6 \text{V})(5)(0.81)(0.9)}$$

M= 98.98 Paneles (Para ahorrar vamos a obviar el sobre dimensionamiento del 20 %)

Por lo tanto, se utilizarán 75 paneles de 315 Wp, con una tensión de 36.6 V y una corriente de 8.61 Amp.

Ar = 1200 X Ed / Id		
Ed	Consumo de electricidad (Kwh/día)	94.50
Id	Irradiación (Kwh/m2 /día)	5
	Factor para compensar perdidas	1200
	Ar (Wp)	22680.00

Paneles Disponibles			No de Paneles
Tipo	Potencia (Wp)	Costo US	
Modulo solar sunlink	315	120	72

c) Cálculo del ángulo de inclinación y del ángulo de orientación

El ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, lo que se recomienda es que se utilice el valor de la latitud del lugar donde se encuentra localizado el proyecto al cual se le suma 5°

$$\angle_{INC} = \angle_{LAT} + 5^{\circ}$$

Por lo tanto, asumiendo que el ángulo de inclinación en el que se deben de colocar los paneles solares orientados hacia el sur es de 25°

d) Cálculo del Banco de Baterías

$$C_B = \frac{A_U E_C}{V_B F_U F_1 N_{INV}} \quad \text{del banco de baterías}$$

E_C = Energía consumida diariamente

A_U = Autonomía deseada en el banco de baterías (días) varía entre 4 días con buena insolación y hasta 6 días para lugares nublados.

V_B = Voltaje nominal al cual trabajará el banco de baterías.

F_U = Fracción de la capacidad total de la batería que se usa para dar la autonomía de diseño del sistema evitando que las baterías se descarguen totalmente.

$F_U = 0.5$ baterías de placa delgada

$F_U = 0.8$ baterías de placa gruesa

F_1 = Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor Nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga.

Este valor varía desde 1.05 en baterías de placa delgada hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tabular.

$$C_B = \frac{A_U E_C}{V_B F_U F_1 N_{INV}}$$

$$M = \frac{(4 \text{ dias})(94500 \text{ Whr})}{(12 \text{ V})(0.8)(1.35)(0.9)}$$

$$C_B = (378,000) / (11.664) = 32,407 \text{ Amp-hr}$$

d) Cálculo del Número de Baterías

$$N_B = \frac{C_R}{C_B}$$

N_B = Número de baterías que se necesitan

C_R = Capacidad de energía requerida para funcionar en días nublados (Ah)

C_B = Capacidad de la batería (Ah)

$$N_B = \frac{C_R}{C_B}$$

$$N_B = (32407 \text{ Ah}) / (370 \text{ Ah}) = 87$$

Otro método

Potencia en baterías = (AUT x Ed) / (Rend x Descarga
Nro de Baterías = Tamaño (wh) / (Ah x V)

Donde:

AUT	Autonomía (días sin brillo solar)	2
Ed	Consumo de electricidad (Kwh/día)	94.50
Rend	Eficiencia de la Batería	80%
Descarga	Descarga máxima de la Batería	65%
Ah	Capacidad total de la Batería	370
V	Voltaje de la Batería	12

Potencia en Baterías	363.4615385	Wh
Nro Baterías	81.86	Unidades

h) Cálculo del Controlador de Carga

$$I_{\max} = I_{SC} \times N_p$$

$$I_{\max} = (9.18 \text{ A}) \times (75 \text{ paneles})$$

$$I_{\max} = 688 \text{ A}$$

i) Especificación del Inversor

$$INV = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$INV = \text{Potencia del Inversor (W)}$$

$$W = \text{Potencia de cada una de las cargas (W)}$$

$$INV = W1$$

$$INV = 4700$$

$$INV = 4700 \text{ w}$$

Con respecto al valor calculado se concluye que el tipo de inversor que se necesite es:

Un Inversor de 4.4KW, Onda Senoidal Modificada, 48VCD - 120V/240VAC.

j) Cálculo el calibre de los conductores de la instalación fotovoltaica

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

A= Es el área del conductor

ρ = Resistividad del cobre $0.01785 \Omega \text{mm}^2/\text{m}^2$

I = Corriente del conductor

l = Longitud del conductor

ΔE = Caída de tensión (V)

e% = Caída de tensión (%) no mayor del 3%

V = Tensión (V)

0.85 = Factor de ajuste para conductores expuestos a la radiación solar.

- Entre el panel y el controlador de carga**

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

Cálculo del ΔE

$$\Delta E = Ve\% / 100\%$$

$$\Delta E = (36.6) \times (3\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 1.098$$

Sustituimos ΔE en la ecuación 1

$$A = 2(0.01785) (8.61) (3) (0.85) (10) / (1.098 \text{ V})$$

$$A = 7.12 \text{ mm}^2$$

El calibre del conductor THW que le corresponde es del 6 AWG.

- **Entre el controlador de carga y las baterías**

$$\Delta E = V_e\% / 100\%$$

$$\Delta E = (28.9) \times (1\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 0.289 \text{ V}$$

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

$$A = 6.54 \text{ mm}^2 \text{ Por lo tanto el calibre del conductor THW es del 8 AWG}$$

- **Entre el controlador de carga y el inversor**

$$\Delta E = V_e\% / 100\%$$

$$\Delta E = (28.9) \times (1\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 0.289 \text{ V}$$

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

$$A = 2 (0.01785)(6.93)(3)(0.85)(3) / (0.289)$$

$$A = 6.54 \text{ mm}^2 \text{ Por lo tanto el calibre del conductor THW es del 8 AWG}$$

- Entre el inversor y el Interruptor termomagnético

$$I = P / V \cos \theta$$

$$I = 4700w / (220) (0.95)$$

$I = 20$ Amp Por lo tanto el calibre del conductor THW es del 8 AWG

$$e\% = 2Pl / \rho VS$$

$e\%$ = caída de tensión %

P = Potencia total considerada (W)

l = longitud de la línea (m)

V = Tensión nominal (220 v)

S = sección en m^2

σ = Resistividad del conductor (0.01785 Ω mm² / m)

ρ = conductividad del cobre

$$\rho = 1/\sigma = 1/0.01785 = 56$$

$$e\% = 2Pl / \rho VS$$

Despejando “S” nos queda de la siguiente fórmula.

$$S = 2Pl / \rho V e\%$$

$$S = (2) (4700W) (3) / (56) (220)^2 (0.5) =$$

$$S = 4.57 \text{ mm}^2$$

Por normas se considera que se use del 10 AWG.

$$\Delta E = V e\% / 100\%$$

$$\Delta E = (220) (0.5\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 1.1 \text{ V}$$

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

$$A = 2(0.01785) (20 \text{ A}) (3) / 1.1$$

$$A = 1.94 \text{ mm}$$

Ambos cálculos el calibre del conductor es el mismo que es del calibre 12 AWG.

8.2 Diseño de los planos del Sistema

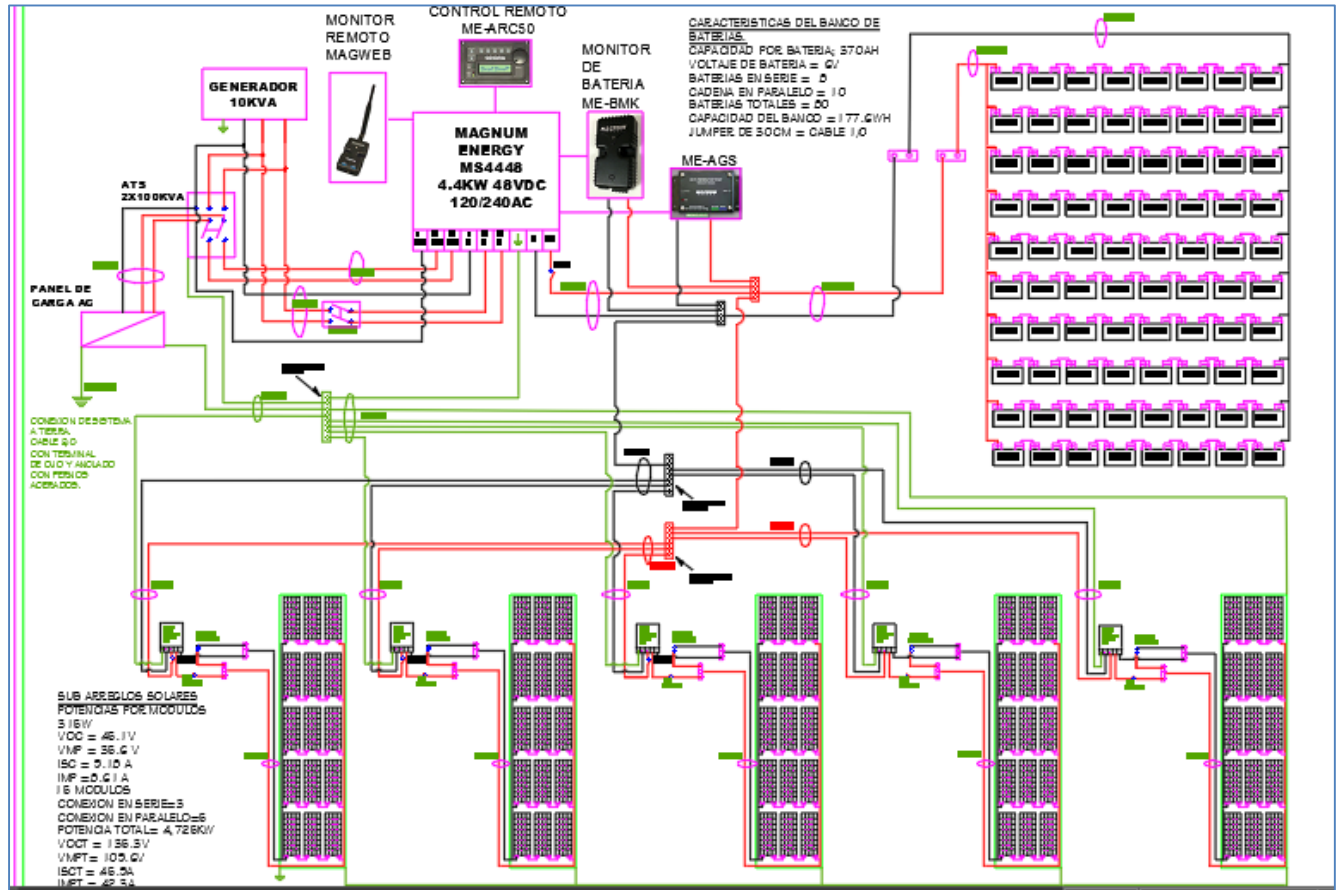


Figura 15: Diseño del sistema fotovoltaico para las BTS fuera del SIN.

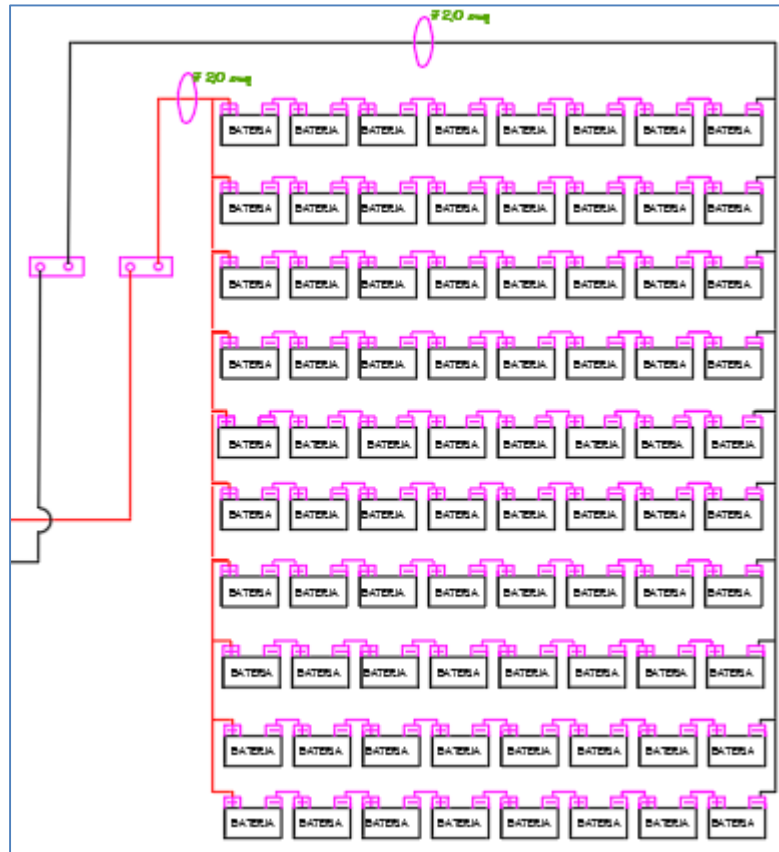


Figura 17: Arreglo de las baterías del sistema fotovoltaico.

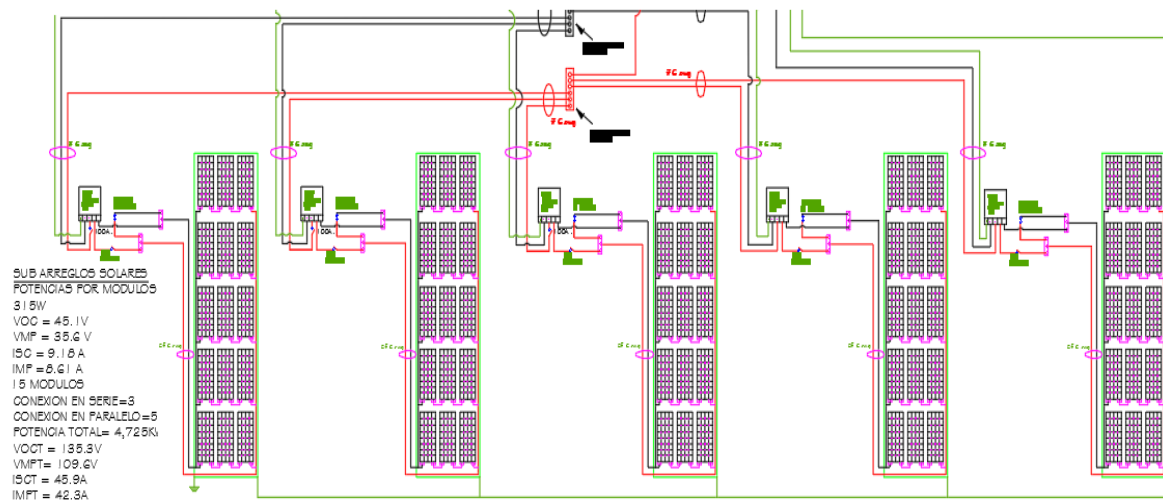


Figura 18: Arreglo de los paneles solares del sistema fotovoltaico.

IX. Conclusiones

Por medio de la siguiente propuesta se logró dar una solución a la problemática de suministrar energía a las estaciones radio base fuera del SIN, mediante propuestas de energización utilizando sistemas fotovoltaicos híbridos.

Además, se realizó la documentación y familiarización técnica de la infraestructura eléctrica utilizada en las Estación Radio Base.

Otro logro fue las inspecciones en campo para determinar la carga a suministrar y dar una solución a la problemática de energía en las estaciones fuera del SIN, partiendo de las alternativas de energización propuestas mediante un adecuado dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido.

Por último, se Utilizó la herramienta computación de AUTOCAD para diseñar el plano eléctrico del sistema fotovoltaico híbrido a proponer.

X. Bibliografía

1. Jack Guido y James P (2012). Administración exitosa de proyectos. Quinta edición. Cengage Learning Editores, S.A de C.V.
2. Clifford Gray y Erik Larson (2009). Administration de Proyectos. Cuarta edición. McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A de C.V.
3. Sapag Chain Nassir y Reinaldo (1989). Preparación y Evaluación de Proyectos. 2da Edición. Editorial, MCGRAW HILL Interamericana de México, S.A. de C.V
4. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos PMBOK. 4ta Edición Project Management Institute (PMI).
5. Hernández Sampieri Roberto (1991). Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL interamericana de México, S.A. de C.V
6. **Gunnar Heine, “GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation”, Artech House, 1999.**
7. Brink, B.J, (1981), Energía Solar Para el Hombre, H. Blume Ediciones, (Madrid)
8. Méndez M. J. María y Cuervo G. R. (2007). Energía Solar Fotovoltaica. 3ra Edición. ECA Instituto de Tecnología y Formación S.A.U. España
9. MANUAL TEÓRICO PRÁCTICO SOBRE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, HECTOR L. GASQUET, octubre del 2004.
10. *BTS3900A Installation Guide, 2012*
11. *Norma de Instalación equipo HUAWEI RTN900EP-11-0203 rev. 1.3, Mayo 2011*
12. *BTS Installation Guideline for OSP RAN Renewal Project-V1.6, 2012*
13. Comoloner Barry, (1978), Energías Alternativas, Editorial Gedisa, (Barcelona España).
14. MOBILE MANUFACTURES FORUM. ESTACIONES BASE
http://mmfai.org/public/dovs/es/base_espan.pdf.
15. Ericsson AB, WCDMA RNC 3180 Handbook, información confidencial, 2006.